



PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR EVAPORATOR TERHADAP PRESTASI AIR COOLED CHILLER DENGAN REFREGERAN R-134a, PADA TEMPERATUR KODENSOR TETAP

Bambang Yunianto¹⁾

Abstrak

Pengujian ini dimaksudkan untuk mendapatkan data prestasi sistem pendingin (*air cooled chiller*) akibat perubahan beban. Sistem pendingin ini menggunakan refrigeran R134a dan air sebagai refrigeran kedua. Setiap perubahan beban pendinginan akan menimbulkan perubahan temperatur evaporator sementara temperatur kondensor dipertahankan tetap. Temperatur evaporator diatur dari -4°C hingga 10°C dan temperatur kondensor dipertahankan pada 31°C . Hasil pengujian menunjukkan terjadinya perubahan prestasi pendinginan (kapasitas refrigerasi, kerja kompresi dan COP), yaitu dengan kenaikan temperatur evaporator tersebut didapat peningkatan prestasi sistem (COP) sebesar 31,4 %.

PENDAHULUAN

Sistem Pendinginan baik untuk Refrigerator ataupun Sistem tata udara (AC) masih banyak menggunakan refrigerant berbasis CFC (*chlor fluor carbon*) yang sudah harus dibatasi penggunaannya. Mengingat sifat refrigerant ini yang tidak ramah lingkungan, menimbulkan efek pemanasan global (GWP), yaitu dengan dimilikinya GWP ($=1700-7300$) dan ODP ($=1$) yang tinggi. Sehingga pembatasan penggunaan refrigerant ini ditetapkan dengan peraturan pemerintah yang tertuang dengan SK MENPERINDAG pada bulan Januari 1998, No. 110, 111, 410 dan 411 yang berisi pelanggaran impor bahan yang dapat merusak ozon (ODS, *ozone Depleting Substance*) serta penghapusan produksi barang-barang pengguna ODS.

Dengan adanya peraturan tersebut maka perlu dicari refrigerant pengganti yang ramah lingkungan. Beberapa refrigerant ramah lingkungan telah ditemukan antara lain refrigerant Hidrocarbon dan R134a. Refrigerant hidrocarbon telah diuji pada refrigerator dengan hasil yang baik ditinjau dari efek pendinginannya dengan didapatkannya COP yang lebih baik dari pada refrigerant berbasis CFC. Untuk sistem tata udara khususnya AC mobil digunakan refrigerant R134a sebagai ganti refrigerant R12. Refrigerant R134a mempunyai GWP (<100) dan ODP ($=0$) yang relatif rendah jika dibandingkan R12. Refrigerant R134a, selama ini banyak digunakan pada AC mobil dengan menggunakan pendinginan langsung, tanpa melalui refrigerant kedua (Brine) Untuk melengkapi data prestasi penggunaan refrigerant R134a pada sistem pendingin dengan menggunakan Refrigerant kedua (Brine), maka pengujian ini perlu kami lakukan. Sebagai model sistem pendingin ini digunakan *air cooled chiller* tipe *secondary loop* yaitu sistem pendingin yang menggunakan *Fan Unit Coil* sebagai *secondary loop* nya. Sistem menggunakan air sebagai refrigerant kedua. Data data prestasi sistem pendinginan yang dicari adalah merupakan fungsi dari

perubahan beban dan perubahan suhu penguapan evaporator dengan pengontrolan suhu condenser yang diatur tetap.

DASAR TEORI

Diskripsi Umum Tentang Air Cooled Chiller

Air-cooled chiller adalah sebuah sistem pendingin yang terdiri dari beberapa komponen utama yaitu evaporator, kondensor, kompresor, katup ekspansi dan *Fan Coil Unit* (FCU).

Pada Evaporator digunakan Chiller dengan air sebagai refrigerant kedua untuk dialirkan ke FCU, dimana udara yang keluar FCU adalah udara dingin yang masuk ruang. Sedangkan sebagai fluida pendingin Kondensor digunakan udara lingkungan. Skema *air-cooled chiller* diberikan pada gambar 1.

Prinsip kerja *air-cooled chiller* sama halnya seperti prinsip kerja sebuah mesin pendingin pada umumnya, dimana pada sistem *air-cooled chiller* terdapat siklus kompresi uap. Pada sistem pendingin ini, refrigeran dalam Evaporator mengambil kalor dari air (refrigerant kedua), sehingga air keluar dari evaporator temperaturnya menjadi lebih rendah. Air ini kemudian dialirkan melalui pipa-pipa ke *fan coil unit* dan kalor yang ada di dalam ruangan diserap oleh air melalui *fan coil unit* tersebut. Selanjutnya air ini dialirkan kembali ke evaporator dan siklus ini berlangsung terus menerus berulang ulang.

Komponen Utama Air Cooled Chiller:

a. Kompresor

Pada sistem pendingin siklus kompresi uap, kompresor berfungsi untuk mempertahankan perbedaan tekanan dalam sistem dan memampatkan serta mengalirkan refrigeran dari evaporator ke kondensor. Dalam pengujian ini digunakan Kompresor Hermetik yaitu kompresor yang komponen utamanya dihubungkan langsung dengan penggerakannya (motor listrik) dalam satu casing.

Pada kompresor hermetik motor ditempatkan di dalam rumah kompresor. Rotor dari Motor listrik menjadi satu dengan poros engkol kompresor,

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

sehingga jumlah putaran kompresor sama dengan jumlah putaran motor listrik.

b. Kondensor

Kondensor adalah alat penukar kalor, dimana refrigeran yang berasal dari kompresor dengan tekanan dan temperatur yang tinggi dikondensasikan, sehingga terjadi perubahan fase dari gas menjadi cair. Pada saat bekerja, refrigeran didalam kondensor akan mengeluarkan kalor yang telah diserap dari evaporator dan panas yang ditambahkan oleh kompresor. Pada Kondensor digunakan pendinginan udara, maka disebut Kondensor pendinginan udara atau *Air-cooled condensers*. Pada pengujian ini digunakan kondensor pendingin udara jenis koil bersirip / kondensor sarang lebah.

c. Evaporator

Seperti kondensor, evaporator adalah alat penukar kalor dimana akan terjadi proses evaporasi didalamnya. Evaporator dalam sistem pendingin berfungsi untuk menyerap panas dari fluida atau benda dan mendinginkannya. Prinsip kerja dari evaporator adalah panas dari fluida atau benda diserap oleh refrigeran yang terdapat didalam evaporator sebagai kalor laten penguapan, sehingga refrigeran tersebut menguap. Refrigeran akan membawa kalor yang diserapnya ke kompresor yang kemudian akan dibuang oleh kondensor. Evaporator yang digunakan dalam sistem *air-cooled chiller* ini adalah evaporator jenis *shell and tube*.

d. Alat Ekspansi

Elemen dasar yang terakhir dari mesin pendingin dalam daur refrigerasi uap setelah kompresor, kondensor dan evaporator adalah alat ekspansi. Alat ekspansi yang digunakan pada peralatan pengujian ini adalah pipa kapiler. Pipa kapiler terbuat dari tembaga yang memiliki diameter dalam sangat kecil (0,2 – 0,8 mm). Pipa kapiler dipasang sebagai pengganti katup ekspansi. Tahanan dari pipa kapiler inilah yang digunakan untuk mentrotel dan menurunkan tekanan. Parameter yang perlu diperhatikan dalam pemilihan pipa kapiler adalah diameter dan panjang pipa. Untuk meningkatkan hambatan dalam pipa kapiler dapat dilakukan dengan jalan memperkecil diameternya atau memperpanjang pipanya.

Pemilihan penggunaan pipa kapiler didasarkan pada kemudahan dan biaya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan katup ekspansi.

e. Fan Coil Unit (FCU)

Fan Coil Unit (FCU) adalah penukar panas yang diletakkan didalam ruangan yang akan didinginkan. Jenis yang digunakan sama seperti yang digunakan pada kondensor yaitu *fin tube*, akan tetapi fluida air yang mengalir dalam pipa sebagai fluida

pendinginnya. Air dingin tersebut dihembus oleh kipas sehingga udara yang keluar menjadi dingin, dan ruanganpun menjadi dingin. Besar laju aliran udara dari FCU dapat divariasikan sebagai variabel beban.

f. Pompa

Pompa berfungsi seperti halnya kompresor, akan tetapi fluidanya berbentuk cair. Pompa ini berfungsi mengalirkan refrigeran sekunder (dimana dalam hal ini digunakan air) dari evaporator menuju ke FCU (*fan coil unit*) dan kembali ke lagi evaporator.

g. Refrigeran

Refrigeran adalah zat yang berfungsi sebagai media pendingin dengan menyerap kalor dari benda atau bahan lain seperti air atau udara ruangan, sehingga refrigeran tersebut dapat dengan mudah merubah phasanya dari cair menjadi gas, sedangkan pada saat terjadi pelepasan kalor oleh refrigeran terjadi perubahan fasa dari gas bertekanan tinggi menjadi cair.

Refrigeran Hidrokarbon dan refrigerant R134a

Pada tahun 1930-an hidrokarbon telah banyak digunakan sebagai refrigeran pada unit-unit pendingin. Beberapa tahun kemudian diperkenalkan refrigeran sintetik yang mempunyai karakteristik dan sifat baik, antara lain, tidak berbau, tidak beracun dan mudah diperoleh sehingga harganya murah. Refrigeran sintetik yang langsung mendominasi pasaran baru-baru ini diketahui memiliki sifat merusak lingkungan terutama yang mengandung senyawa CFC seperti R-12 dan R-13. Kesadaran akan kelestarian lingkungan inilah yang akhirnya membuat refrigeran hidrokarbon kembali digunakan. Refrigeran hidrokarbon memiliki sifat tidak merusak lingkungan. Refrigeran hidrokarbon mempunyai banyak kelebihan, sementara kelemahan dari refrigeran hidrokarbon adalah sifatnya yang mudah terbakar, namun dengan perkembangan teknologi hal ini dapat diatasi, terutama penggunaan pada refrigerator.

Sementara penggunaan hidrocarbon di otomotif masih dalam taraf pengujian mengingat tingkat kebocoran dan pengaruhnya terhadap pelumas baik sifat mekanis dan kimia masih terus diteliti. Sebagai gantinya adalah dipakainya refrigerant R134a yang relatif lebih ramah lingkungan dari pada refrigerant R12.

PRESTASI SISTEM PENDINGIN

Prestasi system pendingin dinyatakan dengan koefisien prestasi atau *Coeffisien of Performance* (COP). COP dari siklus kompresi uap standar adalah dampak refrigerasi dibagi dengan kerja kompresi.

$$COP = \frac{h_1 h_4}{h_2 h_1}$$

dimana :

COP = Coefficient of Performance

h_1 = entalpi refrigeran pada titik 1 (kJ/kg)

h_2 = entalpi refrigeran pada titik 2 (kJ/kg)

h_4 = entalpi refrigeran pada titik 4 dan 3 (kJ/kg)

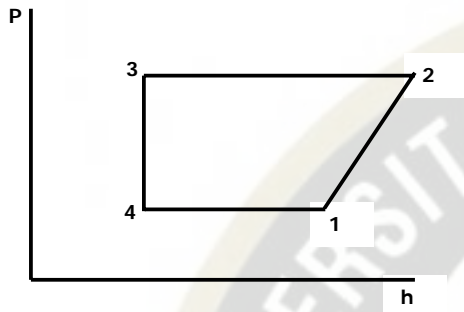
h_1-h_4 = dampak refrergerasi

h_2-h_1 = kerja kompresi

$m(h_1-h_4)$ = kapasitas refrergerasi

$m(h_2-h_1)$ = daya kompresor

m = laju masa refrergerant

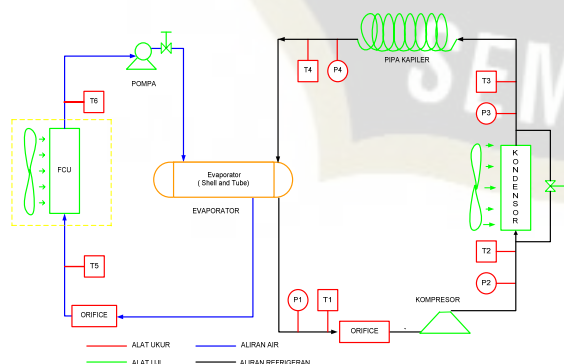


Daya untuk setiap kilowatt refrigerasi merupakan kabalikan dari koefisien prestasi . Suatu sistem refrigerasi yang efisien akan memiliki nilai daya per kilowatt refrigerasi yang rendah, tetapi mempunyai koefisien prestasi yang tinggi.

METODA PENGUJIAN

Instalasi Pengujian

Instalasi peralatan uji dirangkai sedemikian rupa agar identik dengan instalasi sistem refrigerasi *air-cooled chiller* pada umumnya, akan tetapi memiliki kapasitas yang jauh lebih kecil dari ukuran yang sebenarnya. Instalasi peralatan uji tetap terdiri dari komponen utama sistem refrigerasi yaitu berupa evaporator, kondensor, *fan coil unit*, pipa kapiler, dan kompresor piston ½ Hp. Alat ukur yang dipakai antara lain termometer digital, termometer air raksa, *pressure gauge* dan *Orifice*. Berikut ini adalah skema instalasi peralatan uji :



Gambar 1. Skema *air-cooled chiller*

FCU = Fan Unit Coil

T_1, T_2 = Suhu masuk, keluar evaporator

P_1, P_2 = Tekanan masuk, keluar evaporator

T_3, T_4 = Suhu masuk, keluar kondensor

T_5, T_6 = Suhu air masuk, keluar FCU

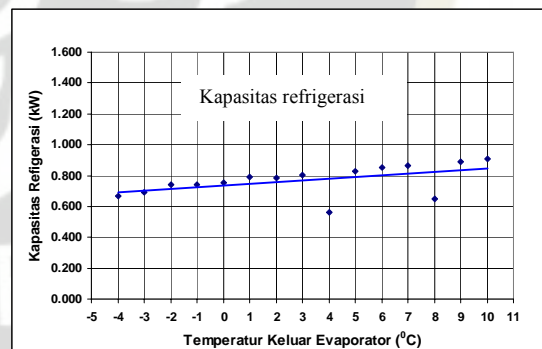
Prosedur Pengujian

Pengujian ini untuk mendapatkan data-data perubahan suhu evaporator (akibat perubahan beban) terhadap prestasi mesin, sementara suhu Kondensor dipertahankan tetap. Prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Peralatan Sebelum Pengujian, meliputi pemeriksaan pipa-pipa refrigeran dan pipa air dari kebocoran dan memastikan sudah terisolasi termal dengan baik.
2. Menghidupkan peralatan uji, hingga tekanan dan temperatur disemua titik telah mencapai kondisi stedi.
3. Mengatur kecepatan fan dikondensor untuk mendapatkan temperatur keluar kondensor sekitar 31°C.
4. Mengatur Suhu keluar Evaporator hingga suhu -4°C dengan mengatur debit aliran air dan mengatur kecepatan kipas fan coil unit
5. Mencatat Arus, tegangan, $\cos \phi$, temperatur dan tekanan pada titik 1,2,3 dan 4.
6. Ulangi presedur 4 dan 5 dengan merubah suhu evaporator menjadi -2, 0, 2, 4, 6, 8 dan 10°C, sementara suhu kondensor tetap dijaga pada suhu 31°C, dengan mengatur regulator.

Data dan Pembahasan

Dari data pengujian diperlihatkan hubungan suhu evaporator terhadap prestasi pendinginan sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator (T_1) Terhadap Kapasitas Refrigerasi, Refrigeran R-134a, temperatur keluar kondensor (T_3) dijaga sekitar 31°C.

1. Pengaruh perubahan temperatur evaporator terhadap kapasitasrefrigerasi

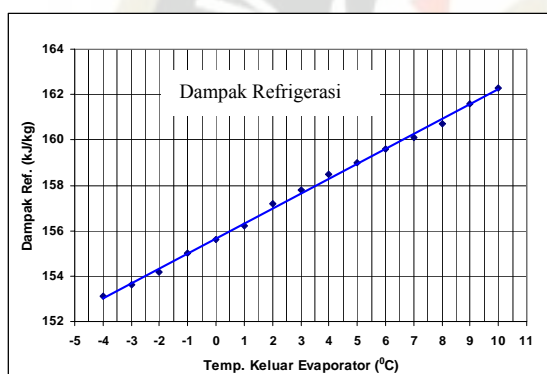
Pada Gambar 2 diatas memperlihatkan bahwa pada temperatur keluar evaporator (T_1) dari -4 °C hingga 10 °C, kapasitas refrigerasinya adalah sebesar

0,670 kW hingga 0,908 kW. Disini terjadi kenaikan kapasitas refrigerasinya sebesar 35,52 %.

Sehingga Gambar 2. menunjukan bahwa kapasitas refrigerasi cenderung naik disebabkan oleh naiknya temperatur keluar evaporator (T_1), sementara temperatur keluar kondensor dipertahankan tetap.

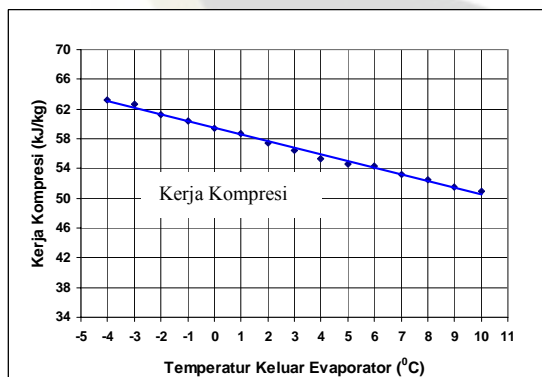
Nilai dari kapasitas refrigerasi sebanding dengan laju aliran massa refrigeran (kg/s) dan sebanding dengan dampak refrigerasinya (kJ/kg). Sehingga karakteristik kapasitas refrigerasi dipengaruhi oleh dua karakteristik yaitu karakteristik dampak refrigerasi dan karakteristik laju aliran massa refrigeran. Dimana dengan kenaikan temperatur T_1 maka laju aliran massa juga mengalami kenaikan sedangkan untuk dampak refrigerasinya juga mengalami kenaikan.

Hal ini bisa dijelaskan, ketika terjadi kenaikan temperatur evaporator T_1 , dimana temperatur keluar kondensor dijaga sekitar 31 °C, maka entalpi keluar evaporator akan naik, sehingga dampak refrigerasinya akan semakin besar. Gambar.3 dibawah ini memperlihatkan pengaruh perubahan temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap dampak refrigerasinya.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator (T_1) Terhadap Dampak Refrigerasi, Refrigeran R-134a, temperatur keluar kondensor (T_3) dijaga sekitar 31°C

2. Pengaruh Temperatur Evaporator (T_1) Terhadap Kerja Kompresi



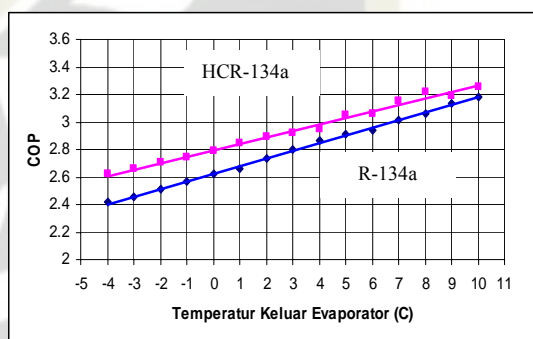
Gambar 4. Grafik Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator (T_1) Terhadap Kerja Kompresi, Refrigeran R-134a pada temperatur keluar kondensor (T_3) dijaga sekitar 31°C

Kerja kompresi merupakan selisih antara entalpi keluar kompresor (h_2) dengan entalpi masuk kompresor (h_1) dan Gambar 4 ini menunjukkan pengaruh hubungan temperatur evaporator terhadap kerja kompresi.

Dari gambar 4, ditunjukkan bahwa dengan kenaikan temperatur Evaporator akan menurunkan beda entalpi antara entalpi keluar kompresor dengan entalpi masuk kompresor. Sehingga kerja kompresi akan turun

3. Pengaruh Perubahan Temperatur Evaporator (T_1) Terhadap COP

Coefisien of Performance (COP) dari siklus kompresi uap refrigerasi dapat diturunkan dari dampak refrigerasi (Gambar-3) dan kerja kompresi (Gambar-4). Telah dibahas bahwa dengan kenaikan temperatur T_1 maka dampak refrigerasinya cenderung naik sedangkan kerja kompresi cenderung turun. Karena faktor pembagi (kerja kompresi) cenderung turun sedangkan pembilang (dampak refrigerasi) cenderung naik, sehingga dengan kenaikan temperatur T_1 , maka COP akan mengalami kenaikan. Hal ini dapat ditunjukkan dengan gambar 5. Sebagai pembandingan prestasi (COP) sistem pendingin dengan refrigerant R-134a, ditampilkan pula prestasi pemakaian refrigerant hidrocarbon HCR-134a. Terlihat bahwa prestasi refrigerant HCR-134a ditinjau dari COP nya dengan menggunakan sistem pendingin yang sama, lebih baik dari pada refrigerant R134a.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator (T_1) Terhadap COP, Refrigeran R-134a, pada temperatur keluar kondensor (T_3) dijaga sekitar 31°C

KESIMPULAN

Dari data pengujian dengan temperatur keluar kondensor dijaga pada 31 °C, sementara dengan memvariasikan beban pendinginan, diketahui bahwa perubahan temperatur keluar evaporator mempengaruhi prestasi sistem *Air Colled Chiller*. Adapun pengaruh kenaikan temperatur keluar evaporator (dari -4 hingga 10 C) dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dampak refrigerasi cenderung naik seiring dengan kenaikan temperatur keluar evaporator, terjadi kenaikan dampak refrigerasinya sebesar 6,01 %.

-
2. Kerja kompresi cenderung turun seiring dengan kenaikan temperatur keluar evaporator, terjadi penurunan kerja kompresi sebesar 23,92 %.
 3. Koefisien Prestasi cenderung naik seiring dengan kenaikan temperatur keluar evaporator (T_1). Terjadi kenaikan koefisien prestasi sebesar 31,4 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dossat, Roy J, "Principle of Refrigeration ". Second edition, John Wiley & Sons, New York, 1981.
2. Holman, J.P, Jasjfi, E, " Metoda pengukuran teknik". Penerbit Erlangga, Jakarta, 1985.
3. R.Fajar Indriyanto, " Uji eksperimental minyak pelumas pada kompresor hermetik dengan viskositas 46 dan refrigeran HCR 12 ". Tugas akhir, Teknik Mesin UNDIP Semarang, 2004.
4. Stocker, Wilbert F & Jones, Jerold W, "Refrigerasi dan pengkondisian udara," Penerbit Erlangga, Jakarta, 1992.
5. Whitman, William C & Johnson, William H, "Refrigeration & air conditioning technology,". Second edition, Delmar Publisher Inc, New York, 1991.

